

Optikai szálak alkalmazása polimer anyagvizsgálatokhoz

Testing of polymer materials using optical fibers

HEGEDŰS Gergely ^{1*}, Dr. CZIGÁNY Tibor ^{1,2}

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, Budapest, 1111 Műegyetem rakpart 3.,

² MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, Budapest, 1111 Műegyetem rakpart 3.

*hegedus@pt.bme.hu; tel:+36307992860

Abstract The purpose of this paper is to introduce a simple method of structural health monitoring of polymer matrix composites. We utilized for this method optical fiber used world-wide in the telecommunication sector and optical loss test set. The optical power loss of the optical fiber is changing, if the polymer specimen, where the fiber is built in, is being deformed. By monitoring of the optical loss, we can get information about the strain state of the polymer specimen by using easily accessible instruments and simple monitoring methods.

Összefoglaló Munkánkban bemutatjuk a polimer mátrixú kompozitok állapotvizsgálatának egy lehetséges módszerét. A módszerhez távközlésben elterjedt optikai szálát, és beiktatásos csillapítás mérő berendezést használunk fel. A polimer alkatrészbe épített optikai szál csillapítása a test deformációjával megváltozik, így a csillapítás változásának megfigyelésével könnyen elérhető eszközökkel, és egyszerű módszerrel következtethetünk a vizsgált test deformációjára.

Kulcsszavak polimer mátrixú kompozit, optikai szál, állapotelemzés, deformáció, csillapítás mérés

1. BEVEZETÉS

Napjainkban az optikai szálak használata a távközlésben széles körben elterjedt. Az optikai szál kialakítása lehetővé teszi, hogy a becsatolt fény a szálból ne tudjon kilépni, és a szál a fény által hordozott információt akár kontinenseken át közvetítse. A nagy volumenű felhasználásának köszönhetően az optikai szálak, és a hozzájuk kapcsolódó berendezések könnyen elérhetővé váltak. Az optika szálak előnye, hogy működésüket elektromágneses zavarforrás nem befolyásolja (pl.: rádióhullámok, háttér sugárzás), nincs szükség elektromágneses szempontból árnyékolásra, ugyanakkor az optikai szál maga sem sugároz, így nem jelent zavarforrást [1–3]. Anyaguk nagymértékben ellenáll korrózióknak, hőterhelésnek [4]. Előnyük még a kis átmérőjük, kis tömegük és nagy flexibilitásuk. Ezen előnyös tulajdonságaik is alkalmassá teszik őket szenzorként való felhasználásra. Optikai szálát kétféle módon használhatunk szenzorként: ha a szál maga csak az információt közvetíti az érzékelő és feldolgozó egység között, extrinsic szenzornak, míg ha a szál maga a jeltovábbító (fényvezető) közeg, és az érzékelő egyben, intrinsic szenzornak nevezzük. Az optikai szenzorok optikai szálában terjedő fény valamely jellemzője (intenzitása, fázisa, polarizációja, hullámhossza, időzítése, spektrális eloszlása) megváltozik a külső körülmények hatására (mint például a szálra ért terhelés, deformáció) [5]. A különböző típusú optikai szenzorokban [6, 7] közös, hogy a jelfeldolgozó eszköz az optikai szálról leválasztható, külön egység. A távközlésben a passzív optikai hálózatok vizsgálatára használt legáltalánosabban elterjedt eszköz az optikai beiktatásos csillapítás mérő, mivel ezen optikai rendszerek kiépítésekor és fenntartásakor az átviteli tulajdonságaik közül a csillapítás a leggyakrabban mért jellemző. A csillapítás (a) a szálba betáplált (P_{be}) és a szál kimenetén (P_{ki}) megjelenő optikai teljesítmény viszonya decibelben kifejezve [8] (1).

$$a = 10 \lg \frac{P_{be}}{P_{ki}} \quad (1)$$

Polimer mátrixú kompozitba az optikai szál a korábban felsorolt előnyös tulajdonságai miatt könnyen beépíthető. A polimer mátrixú kompozitok fejlődése napjainkig töretlen, a szálerősítésű műanyagokat az élet szinte minden területén fellelhetjük (pl.: sporteszközök, orvosi implantátumok, szélerőművek lapátjai, repülőgépek, hajók, személy- és tehergépkocsik, buszok karosszériái). A fémszerkezetek jóval homogénebb anyagával ellentétben a kompozitok összetett szerkezetében terhelés alatt máshogy viselkedik a mátrix és az erősítőszál. A szerkezeti elemek állapotismerete éppen emiatt rendkívül fontos, mindenekelőtt akkor, ha személyi biztonsággal összefüggő alkatrészeket vizsgálunk. A kompozitok térnyerése magával vonzza a kompozitok állapotvizsgálatának új módszereit, és megköveteli a minél egyszerűbb roncsolásmentes, üzem közbeni (*in-situ*) elemzési módszerek kifejlesztését. Számos módszer létezik a polimer mátrixú kompozit szerkezetek állapotának elemzésére [9], melyek közül az optikai érzékelős módszerekkel egyre több kutató foglalkozik. Az iparban elterjedt módszerek (FBG stb.) szenzorainak, jelfeldolgozó, és kiértékelő egységeinek ára nagyságrendileg nagyobb, mint maga az optikai szál, ami a technológia alkalmazását általánosabb, nem speciális területen felhasznált termékekénél nem teszi kifizetődővé.

Jelen munka keretein belül az optikai szálak felhasználhatóságát vizsgáljuk polimer anyagok állapotvizsgálatához. Célunk a polimer próbatestbe épített optikai szálban terjedő fény megváltozott jellemzőjéből következtetni a próbatestet ért terhelés mértékére, ennek érdekében az optikai szál terhelése közben vizsgáljuk a szál csillapításának változását. Célunk a távközlésben általánosan elterjedt csillapítás mérő (optikai adó-vevő) eszköz segítségével a polimer kompozitok deformációjának és tönkremenetelének kimutatása, ehhez kapcsolódóan egy egyszerű módszer fejlesztése.

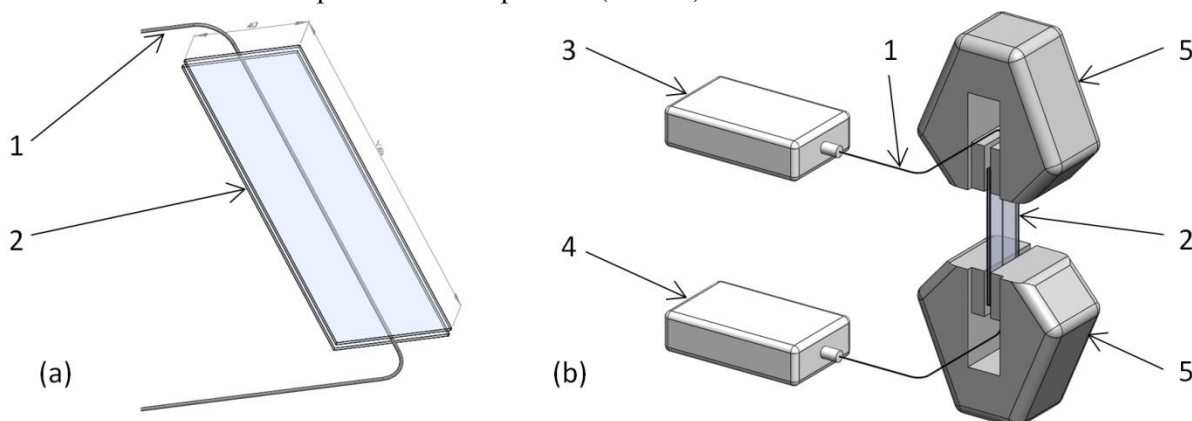
2. KÍSÉRLETI RÉSZ

Az első kísérletek annak bizonyítására szolgálnak, hogy a távközlésben is használt általános optikai szál deformációja az optikai szálban átvitt fény optikai teljesítményváltozásában, tehát a szál csillapításában megmutatkozik.

2.1. Felhasznált anyagok, próbatest gyártás

A kísérletekben felhasznált optikai szál G.562.D monomódusú üvegszál, amelynek jellemzője, hogy deformációra érzékenyebb, merőleges szálvég kialakítással, 9 mikrométer átmérőjű maggal, 125 mikrométer külső köpeny átmérővel, 250 mikrométer átmérőjű védőréteggel (lakk), és ezen felül egy mechanikai védelmet szolgáló borítással rendelkezik.

A próbatest készítésénél telítetlen poliészter gyanta (AROPOL M105 TB, Ashland S.p.A., Olaszország) volt a mátrixanyag, ehhez adtunk hozzá a gyártás során felhasznált gyanta tömegéhez viszonyított 1,5 [%] iniciátort (PROMOX P200TX, PROMOX SRL, Olaszország). Két üvegszövet közé helyeztük be az optikai szálát. Az optikai szál külső védőrétegét eltávolítottuk, és a 250 μm átmérőjű szálát 120 mm hosszú kompozit lemezbe építettük (1. ábra).



1. ábra

Próbatest kialakítása (a) és a mérési elrendezés (b) (1 – Optikai szál, 2 – gyantával átitatott üvegszövet, 3 – fényforrás, 4 – csillapítás mérő, 5 – szakítógép befogója)

2.2. Felhasznált berendezések

A szálak toldására száltörőt (Fujikura, CT-30, USA) és szálhegesztő berendezést (Fujikura, FSM 12 S, USA) használtunk. Az optikai szálakat szakítógépben (Zwick, BZ050/TH3A, Németország) deformáltuk. Az optikai szál egyik végénél fényforrás (AFL Telecommunications, OLS7 FTTH UCI, USA) segítségével 1550 nm hullámhosszúságú fényt csatoltunk be, és a másik végén csillapításmérő (AFL Telecommunications, OPM5-4D, USA) készülékkel vizsgáltuk a szálból kilépő fény tulajdonságait (1. ábra).

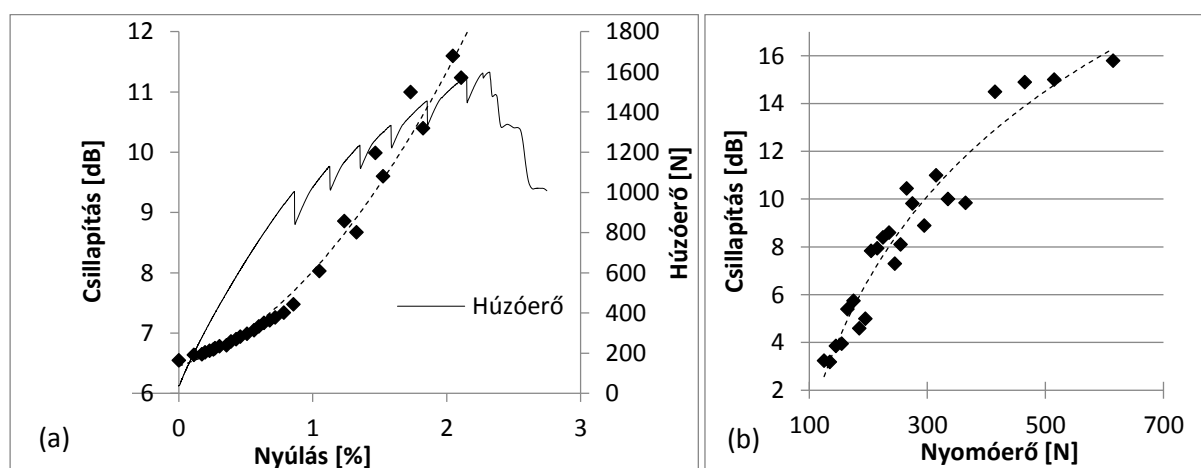
2.3. Előkísérlet

Első kísérletünkben a 250 mikrométer átmérőjű, lakkréteggel ellátott szálakat mikrométer segítségével deformáltuk, miközben mértük a szál csillapítását. A terheletlen szál csillapításának értéke: 5,83 dB volt, míg a szál deformálásával ez az érték növekedett 0,037 mm-es összeszorításnál 6,12 dB-re. Ez alapján az optikai szál csillapításának mérése alkalmas lehet a szálakért deformáció kimutatására, de a deformáció helyét nem lehet belőle megállapítani. A szál törését okozó deformáció hatására a fény nem tud tovább a szálban terjedni, nem is fog abból a vizsgálati oldalon kilépni (korábban kilép a töréspontnál), így a módszer alkalmas lehet az optikai szál törését eredményező hibák, szélsőséges deformációk kimutatására is.

2.4. Kísérletek és eredményeik

További kísérleteket végeztünk beépített optikai szálak kompozit próbatestek szakításával. A kompozit lemez szakítása során folyamatosan mértük a beépített szál csillapítását, és a terhelés nagyságát. A beépített szál kezdeti csillapítása 0,17 dB volt, míg befogás után a kezdeti csillapítás 6,55 dB, továbbá a szakítógép szorító pofái között a kezdeti távolság 70 mm. A szakítógépet 2000 N maximális erő elérésére állítottuk be 10 N/s-os felterhelési sebességgel. A kapott eredményeket az 2. ábra mutatja be. Az eredmények alapján látható, hogy a kompozit próbatest, és így a beleépített optikai szál deformációjával nő az optikai szál csillapítása. A próbatest 0,8%-os deformációjánál a szál csillapítása 10%-kal nőtt, 1,5%-os deformációnál a csillapításérték 50%-kal nőtt. Ez a megváltozott csillapításérték azonosítható, és a próbatest tönkremenetele előtt (2-2,5%-os deformáció) megfelelő támpontot biztosít nekünk a megengedettnél nagyobb terhelés kimutatására.

Az optikai szál csillapításának változását vizsgáltuk a szál tengelyére merőleges nyomásra is. A szál, amelyről a külső védőréteget és lakkréteget eltávolítottuk, nyomás hatására azonnal eltört, akár csak amikor a lakkréteg rajta maradt a szálon. Ezért a mérést úgy végeztük el, hogy a külső mechanikai védelemre szolgáló réteget nem távolítottuk el. A különböző összenyomó erőértékeket, és a hozzá tartozó csillapítás értékeket a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** mutatja. A szál 815 N erőnél eltört.



2. ábra

Kompozit próbatestbe épített optikai szál csillapításának változása húzás (a) és nyomás (b) hatására

A mért értékekből látszik, hogy a szál csillapítása nőtt az összenyomó erő növelésével. Kezdetben 15%-os nyomóerő növekedés közel 15%-os csillapítás változást jelent, majd a csillapítás nagyobb

ütemben növekszik, mint a terhelés. A mérés jól jelzi, hogy az eljárás alkalmas lehet megváltozott nyomóerő kimutatására.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Eredményeink alapján elmondható, hogy polimer mátrixú kompozitba épített, távközlésben használatos, monomódusú optikai szál deformációja hatással van a szál csillapítására, és a szálra ható terhelés növekedésével a csillapítása is növekszik. A szál csillapításának elemzésével információt kaphatunk a környezetének alakváltozásáról egy könnyen elérhető, napjainkban elterjedt optikai beiktatásos csillapítás mérő berendezés segítségével. A vizsgálandó alkatrészbe az optikai szál sajátosságai révén könnyen beépíthető, a mérőberendezés beépítés nélkül hozzá könnyen csatlakoztatható, így akár *in-situ* megoldható az alkatrész állapotának megfigyelése.

Általánosabb célú polimer mátrixú kompozit termékeknél, melyek szerkezeti állapotának ismerete nem kritikus, de lényeges, továbbá érzékenységük miatt a komplexebb beépített szenzorozás nem kifizetődő, alkalmas lehet a bemutatott eljárás egy olcsó, a kritikus tönkremenetel előtt a jelen lévő deformációt kimutató állapotellenőrzésre.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-16-3-I. számú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült. A cikk megjelenését a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) OTKA (K 116070 és K120592) és NVKP (NVKP_16-1-2016-0046) pályázatai támogatták.

A szerzők köszönetet mondanak Szabó Zsoltnak (ATL Kft) a mérések elvégzésében nyújtott segítségért.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Gholamzadeh B., Nabovati H.: Fiber Optic Sensors, International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering, 2008, 2/6, 1107–1117.
- [2] Di Sante R.: Fibre Optic Sensors for Structural Health Monitoring of Aircraft Composite Structures: Recent Advances and Applications, Sensors, 2015, 15, 18666–18713.
- [3] Glisic B.: Distributed fiber optic sensing technologies and applications – an overview, ACI Special Publication, 2013, SP-292, 1–18.
- [4] Antonucci V., Esposito M., Ricciardi M. R., Raffone M., Zarrelli M., Giordano M.: Permeability characterization of stitched carbon fiber preforms by fiber optic sensors, Express Polymer Letters, 2011, 5, 1075–1084.
- [5] Konstantopoulos S., Fauster E., Schledjewski R.: Monitoring the production of FRP composites: A review of in-line sensing methods, Express Polymer Letters, 2014, 8, 823–840.
- [6] Glisic B., Inaudi D.: Fibre optic methods for structural health monitoring, John Wiley & Sons Ltd., New York, 2007.
- [7] Guo H., Xiao G., Mrad N., Yao J.: Fiber optic sensors for structural health monitoring of air platforms, Sensors, 2011, 11, 3687–3705.
- [8] Grattan K. T. V., Meggitt B. T.: Optical fiber sensor technology, Springer-Science+Business Media, B.V, Dordrecht, 1995.
- [9] Hegedűs G., Czigány T.: Kompozit termékek állapotelemzési módszerei, GÉP, 2016, 56/5, 98–103.